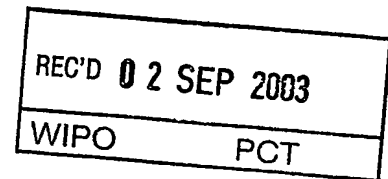


10/527371  
PCT/DE 03/02260  
10 MAR 2003

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:**

102 41 893.4

**Anmeldetag:**

10. September 2002

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

**Anmelder/Inhaber:**

ROBERT BOSCH GMBH, Stuttgart/DE

**Bezeichnung:**

Verfahren zur Korrektur der Position der Winkelmar-  
ken eines Inkrementrades eines Drehzahl- und/oder  
Drehwinkelsensors und System hierzu

**IPC:**

F 02 D, G 01 P, G 01 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 18. Juli 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Ebert

5 02.09.2002/ABU/MLM-NEG  
Robert Bosch GmbH, 70442 Stuttgart

10 Verfahren zur Korrektur der Position der Winkelmarken eines  
Inkrementrades eines Drehzahl- und/oder Drehwinkelsensors  
und System hierzu

15 Stand der Technik

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Korrektur der  
Position der Winkelmarken eines Inkrementrades eines  
Drehzahl- und/oder Drehwinkelsensors eines

20 Verbrennungsmotors und ein System hierzu.

Zur Erfassung von Drehzahl und Winkel, insbesondere  
Kurbelwinkel und/oder Nockenwinkel, eines  
Verbrennungsmotors werden Inkrementräder eingesetzt. Ein

25 Inkrementrad weist an seinem Umfang Marken auf, die  
idealerweise mit äquidistantem Winkelabstand angebracht  
sind. Das Inkrementrad wird von einem Sensorelement  
abgetastet. Eine nachgeschaltete Flankenauswertung  
detektiert die Position der Marken aus dem Sensorsignal.

Der tatsächliche Kurbelwinkel wird durch die Marken des Inkrementrades jedoch nur ungenau erfasst. Unter anderem verfälschen die Toleranzen von Inkrementrad (reale, nicht äquidistante Geberradmarken), Sensor und Flankenbewertung  
5 den so erfassten Winkel.

Es sind Verfahren zur Adaption der Toleranzen von Geberrad und Winkelerfassung bekannt (DE 42 16 058 A1).

Da durch Kompression und Expansion der angesaugten Luft in den Zylindern auch im Schleppbetrieb eine ungleichförmige Drehbewegung des Motors entsteht, benötigen die bekannten Adaptionsalgorithmen Modelle, die diese Drehunförmigkeit des Motors beschreiben. Nach Abtrennung dieser  
15 Signalanteile vom gemessenen Winkelsignal bleiben die durch die Toleranzen des Geberrads bzw. der Winkelerfassung verursachten Signalanteile übrig.

Durch Auswertung der verbleibenden Signalanteile, z.B. nach  
20 der DE 42 16 058 A1, können nichtäquidistante Winkelmarken erkannt und anschließend zur Kompensation der Winkelfehler benutzt werden. Da die Modelle der Drehunförmigkeit des Motors nur bedingt genau sind, ist die beschriebene Trennung der Signalanteile jedoch nur näherungsweise  
25 möglich. Hierdurch verbleibt ein Restfehler für die Position der Winkelmarken.

Weiterhin sind Verfahren bekannt, um mit Hilfe von Brennraumdruck-Sensoren einzelne Parameter des Verbrennungsprozesses in einem Verbrennungsmotor zu erfassen bzw. zu regeln.

Aufgabe der Erfindung ist es ein Verfahren zur Korrektur der Position der Winkelmarken eines Inkrementrades eines Drehzahl- und/oder Drehwinkelsensors eines Verbrennungsmotors und ein System hierfür bereitzustellen, das eine Adaption der Signale des Inkrementrades auf einfache und dennoch sehr genaue Art und Weise ermöglicht.

#### 15 Die Erfindung und ihre Vorteile

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und ein System mit den Merkmalen des Anspruchs 13.

20

Die Erfindung hat den Vorteil, dass unter Ausnutzung der Information des Brennraum-Drucksignals die Inkrementfehler eines zur Erfassung von Drehzahl bzw. Wellenwinkel benutzten Messsystems ermittelt und kompensiert werden.

25 Damit ist eine präzisere Steuerung des Verbrennungsmotors möglich. Insbesondere kann mit einem genaueren Winkelsignal

die in einen Verbrennungsmotor einzuspritzende Kraftstoffmenge beinockengesteuerten Systemen mit geringerer Toleranz zugemessen werden.

- 5 Eine genaue Erfassung von Wellenwinkel und Drehzahl eines Verbrennungsmotors wird ermöglicht, indem die Position der Winkelmarken des Inkrementrades und des nichtäquidistanten Anteils der Abstände der Winkelmarken genau bestimmt wird. Die nichtäquidistanten Abstände der Winkelmarken können somit für die Berechnung des Wellenwinkels und der Wellendrehzahl berücksichtigt werden. Die Winkelkorrektur wird in speziellen Betriebssituationen des Verbrennungsmotors aus dem Brennraum-Drucksignal ermittelt.
- 15 Als besonders geeignet für die Ermittlung der Winkelmarkenkorrektur aus dem Zylinderdruckverlauf erweisen sich die Kompressions- und Expansionsphasen der Zylinder im Schleppbetrieb. In diesen Phasen weist die Ableitung des Brennraum-Drucksignals nach dem Kurbelwinkel sehr hohe
- 20 Werte auf.

Wird die Zylinderdruckmessung durch die Winkelmarken getriggert, so führen Fehler in der Position der Winkelmarken zu vom fehlerfreien Fall abweichenden

- 25 Zylinderdrücken. Diese Abweichungen können erkannt und zur Kalibrierung der Winkelmarken genutzt werden. Deswegen kann

der Winkel beispielsweise der Kurbelwelle mit der beschriebenen Erfindung präziser ermittelt werden als mit bekannten Adaptionsverfahren.

- 5 Modelle für die Drehunförmigkeit des Verbrennungsmotors, wie sie aus dem bekannten Stand der Technik bekannt sind, werden nicht benötigt.

Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

#### Zeichnung

- 15 Die Erfindung wird anhand den in den Zeichnungen dargestellten Figuren und dem nachfolgenden Ausführungsbeispiel näher beschrieben.

20 Figur 1: zeigt den Zylinderdruck verschiedener Zylinder eines Verbrennungsmotors, der über dem Kurbelwellen-Winkel aufgetragen ist; und

Figur 2: zeigt eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Systems.

25

Gemäß Fig. 1 wird abhängig von der Anzahl  $Z$  der Zylinder

des Verbrennungsmotors das Arbeitsspiel bzw. der Kurbelwellen-Winkel in  $Z$  verschiedene Segmente so eingeteilt, dass in jedem Segment ein Zylinder existiert, dessen Ein- und Auslassventile geschlossen sind. Dieser  
5 Zylinder befindet sich momentan in einer Kompressions- bzw. Expansionsphase und wird für dieses Segment für die Auswertung des Zylinderdrucks zur Winkelmarkenpositionserfassung ausgewählt.

Im folgenden wird beschrieben, wie erfindungsgemäß für jedes Segment die Position der Winkelmarken anhand des Zylinderdruckverlaufs korrigiert werden kann.

Der Kurbelwinkel des Verbrennungsmotors wird mit Hilfe eines mit der Kurbelwelle verbundenen Inkrementrades 1  
15 erfasst. Dieses Inkrementrad 1 weist an seinem Umfang  $M$  Marken auf, die mit idealerweise äquidistantem Winkelabstand  $\varphi_{\text{Inkr,ideal}}$  angebracht sind. (Bei

Inkrementrädern mit fehlenden, eine Referenzlücke bildenden Marken entspricht  $M$  der Anzahl der vollständigen Marken).

20 Ein Sensorelement 2 tastet das Inkrementrad ab. Eine Einheit Flankenäuswertung 3 detektiert die Position der Marken aus dem Sensorsignal. Ein Inkrementzähler 4 zählt die Anzahl  $k$  der im aktuellen Segment detektierten Marken. Pro Segment sind vorzugsweise  $2M/Z$  Marken vorhanden.

25

Ausgehend von einem Referenzpunkt vor der ersten

Winkelmarke ergibt sich der Kurbelwinkel  $\varphi_{KW,nom}(k)$  für die Winkelmarke  $k$  im fehlerfreien Fall aus dem Inkrementzähler durch die Beziehung

$$\varphi_{KW,nom}(k) = k \cdot \Delta\varphi_{inkr,ideal}.$$

Bedingt durch Toleranzen von Inkrementrad 1, Sensorelement 2 und Flankenbewertung 3 ist der Winkel zwischen einzelnen Marken jedoch fehlerbehaftet und es ergibt sich für jede Marke  $k$  ein anderer Winkel  $\Delta\varphi_{inkr,real}(k)$ .

$$\varphi_{KW,real}(k) = \sum_{i=1}^k \Delta\varphi_{inkr,real}(i) \neq k \cdot \Delta\varphi_{inkr,ideal}.$$

Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren wird getriggert durch die Detektion der Winkelmarken für jeden Zylinder (5a - 5b) des Verbrennungsmotors der Brennraumdruck  $p_{zy1}(1)$ ,  $p_{zy1}(2)$ , ...  $p_{zy1}(2M/Z)$  mittels Drucksensoren (6a - 6b) erfasst. Ein Zylinderzähler 7 wählt mit Hilfe einer Signalauswahl-Einheit 8 daraus das Drucksignal des für dieses Segment bestimmten Zylinders aus. Die gemessenen Druckwerte werden in einer Messwert-Tabelle 11 gespeichert und stehen nach Abschluss der Messung bei der letzten Winkelmarke des Segmentes für eine Auswertung zur Verfügung.



Eine Betriebspunkterkennung 10 überwacht den Betriebszustand des Motors und startet die Auswertung, wenn der Motor sich in einem vordefinierten Betriebszustand befindet. Die Geberradadaption anhand des Zylinderdrucks wird vorzugsweise im Schleppbetrieb durchgeführt, sobald sich für die festgelegte Drehzahl stabile Betriebsbedingungen einstellen. Für diese Betriebsbedingungen ist in der Motorsteuerung eine Referenz-Tabelle 9 vorhanden, in der die sich an den idealen Winkelmarkenpositionen  $\varphi_{KW,nom}(k)$  ergebenden Zylinderdrücke abgelegt sind. Diese kann beispielsweise zuvor an einem Prüfstand für ein Exemplar dieses Motortyps ermittelt werden. Bild 1 zeigt in jedem Segment einen beispielhaften Zylinderdruckverlauf, wie er in der Referenz-Tabelle gespeichert sein kann.

Da der Zylinderdruck sehr empfindlich auf kleine Veränderungen der Betriebsbedingungen reagiert (Ladedruck, Ladelufttemperatur) und zudem reale Zylinderdrucksensoren Offset- und Verstärkungsfaktorfehler aufweisen, ist ein direkter Vergleich der gemessenen und als Referenz tabellierten Zylinderdruckwerte nur bedingt möglich. Deshalb werden vorteilhafterweise zunächst in einer Signalaufbereitung 12 ein möglicher Verstärkungsfaktor  $a$  und ein Offsetfaktor  $b$  geschätzt und das gemessene Drucksignal entsprechend korrigiert. Dies kann z.B. mit

Hilfe eines Least Square Schätzverfahrens geschehen. Die Faktoren a und b werden dabei so bestimmt, dass

$$\sum_{i=1}^{2M/Z} \left[ p_{\text{zyl, Tabelle}}(i) - (a \cdot p_{\text{zyl, Messung}}(i) + b) \right]^2 \rightarrow \text{Min}$$

5

minimal wird. Alternativ zu einer Tabelle kann auch eine Funktion verwendet werden und die Parameter der Funktion entsprechend geschätzt werden.

- 10 Um das hier vorgestellte Verfahren auch bei gestörten Zylinderdrucksignalen anwenden zu können ist es als Erweiterung der Erfindung auch möglich die Zylinderdruckwerte zunächst über mehrere Arbeitsspiele zu speichern und die gemessenen Werte für die einzelnen
- 15 Winkelmarken zu mitteln. Hiermit können zusätzlich stochastische, mittelwertfreie Fehler auf den Signalen kompensiert werden.

- Durch einen Vergleich der so vorverarbeiteten, gemessenen
- 20 Zylinderdruckwerten  $a \cdot p_{\text{zyl, Messung}}(k) + b$  mit den tabellierten Werten können in einer Auswerteeinheit 13 Abweichungen festgestellt und diese erfindungsgemäß auf eine fehlerbehaftete Position der Winkelmarken zurückgeführt werden. Der zum Druckwert  $a \cdot p_{\text{zyl, Messung}}(k) + b$  gehörende Winkel

- 25  $\phi_{\text{KW, korx}}(k)$  kann z.B. aus einer linearen Interpolation

zwischen den tabellierten Zylinderdruckwerten errechnet werden. Für den Positionsfehler ergibt sich  $\Delta\phi_{KW, \text{korrr}} = \phi_{KW, \text{korrr}}(k) - \phi_{KW, \text{nom}}(k)$ . Dieser wird in einer Winkelkorrekturtabelle 14 gespeichert, auf die alle anderen Funktionen im normalen Motorbetrieb zugreifen können. Eine Adaption bzw. Korrektur der Position der Winkelmarken kann vorgenommen und der tatsächliche Kurbelwinkel kann präzise ermittelt werden. Damit ist eine präzisere Steuerung des Verbrennungsmotors möglich.

10

Da die Signalamplitude z.B. eines induktiven Inkrementgebers sehr stark von der Geschwindigkeit zwischen Sensor und Winkelmarke und somit von der Motordrehzahl abhängig ist, können sich auch in der für die Winkelmarkenerkennung benötigten Flankendetektion drehzahlabhängige Fehler ergeben. Diese Drehzahlabhängigkeit kann kompensiert werden, wenn die Kalibrierung der Winkelmarkenabstände aus dem Zylinderdrucksignal bei unterschiedlichen Drehzahlen durchgeführt und in der Winkelkorrektur-Tabelle drehzahlabhängig abgelegt wird.

20

Da ein Arbeitsspiel aus zwei Kurbelwellenumdrehungen besteht überdecken sich bei Motoren mit gerader Zylinderanzahl  $Z$  die Kurbelwinkelbereiche für Zylinder  $i$  und  $i+Z/2$ . Es genügt die Auswertung des Drucksignals der

25

Zylinder  $i=1..Z/2$  bzw. die Ergebnisse können mit den Ergebnissen der Zylinder  $i=Z/2+1..Z$  plausibilisiert werden.

- Bei Motoren mit ungerader Zylinderanzahl können die
- 5 Segmente kleiner gewählt werden, so dass sie die Bereiche mit den größten Gradientenänderungen des Drucks beinhalten.

Prinzipbedingt können Positionsfehler der Winkelmarken direkt um den OT nur schwer erkannt werden, da dort der Gradient  $dp_{\text{Zyl}}/d\alpha$  mit dem Kurbelwinkel  $\alpha$  sehr kleine Werte aufweist.

- Die Wirksamkeit des Verfahrens in Bezug auf genauere Zumessung der Kraftstoffmenge kann nachgewiesen werden,
- 15 indem die Zumessgenauigkeit beim UIS-System (winkelzumessendes System) ohne und mit aktiver Winkelkorrektur durch das in der Erfindung beschriebene Verfahren verglichen wird.

- 20 Die Wirksamkeit des Verfahrens kann ferner nachgewiesen werden, indem der Verlauf der Inkrementzeiten ohne und mit aktiver Winkelkorrektur mit dem in der Erfindung beschriebenen Verfahren wird. Mit aktiver Winkelkorrektur stellt sich ein deutlich glatterer Verlauf der
- 25 Inkrementzeiten ein als ohne Winkelkorrektur.

5 02.09.2002  
Robert Bosch GmbH, 70442 Stuttgart

10

**Ansprüche**

1. Verfahren zur Korrektur der Position der Winkelmarken  
15 (k) eines Inkrementrades (2) eines Drehzahl- und/oder  
Drehwinkelsensors (1,2,3,4) eines Verbrennungsmotors,  
gekennzeichnet durch folgende Schritte:
  - a) Erfassen der Winkelmarken (k) mit dem Drehzahl- und/oder  
Drehwinkelsensor (1,2,3,4),  
20 b) Messen des Brennraumdrucks ( $p_{zy1}(1)$ ,  $p_{zy1}(2)$ , ...  
 $p_{zy1}(2M/Z)$ ) im jeweiligen Zylinder (5a, 5b) des  
Verbrennungsmotors,  
c) Zuordnen eines gemessenen Druckwertes ( $p_{zy1}(1)$ ,  $p_{zy1}(2)$ ,  
...  $p_{zy1}(2M/Z)$ ) zu den erfassten Winkelmarkpositionen  
25 ( $\phi_{inkr,real}(k)$ ),  
d) ggf. Korrektur der gemessenen Druckwerte ( $p_{zy1}(1)$ ,  
 $p_{zy1}(2)$ , ...  $p_{zy1}(2M/Z)$ ) in einer Signalaufbereitung (12),  
e) Speichern der erfassten Winkelmarkpositionen  
( $\phi_{inkr,real}(k)$ ) mit den zugehörigen, gemessenen Druckwerten

$(p_{zyl}(1), p_{zyl}(2), \dots p_{zyl}(2M/Z))$  in einer Messwert-Tabelle  
(11),

f) Ablegen von sich an den idealen Winkelmarkenpositionen

$(\varphi_{inkr,ideal}(k))$  ergebenden Idealdruckwerten  $(p_{zyl,ideal}(1),$

5  $p_{zyl,ideal}(2), \dots p_{zyl,ideal}(2M/Z))$  in einer Referenz-Tabelle  
(9),

g) Vergleich der gemessenen und ggf. in der

Signalaufbereitung (12) vorverarbeiteten Druckwerten

$(p_{zyl}(1), p_{zyl}(2), \dots p_{zyl}(2M/Z))$  mit den Idealdruckwerten

10  $(p_{zyl,ideal}(1), p_{zyl,ideal}(2), \dots p_{zyl,ideal}(2M/Z)),$

h) Feststellen von Abweichungen  $(\Delta\varphi_{KW,Korr}(k))$  der gemessenen

Winkelmarkenpositionen  $(\varphi_{inkr,real}(k))$  zu den idealen

Winkelmarkenpositionen  $(\varphi_{inkr,ideal}(k))$  bei übereinstimmenden

Zylinderdruckwerten  $(p_{zyl}(1) = p_{zyl,ideal}(1), p_{zyl}(2) = p_{zyl,ideal}$

15  $(2), p_{zyl}(2M/Z) = p_{zyl,ideal}(2M/Z))$  in einer Auswerteeinheit  
(13),

i) Korrigieren der gemessenen Winkelmarkenpositionen

$(\varphi_{inkr,real}(k))$  um die festgestellten Abweichungen  $(\Delta\varphi_{KW,Korr})$ .

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

20 dass das Verfahren in vordefinierten Betriebszuständen des  
Verbrennungsmotors, insbesondere im verbrennungsfreien  
Schleppbetrieb, durchgeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch

gekennzeichnet, dass das Feststellen von Abweichungen

( $\Delta\phi_{KW, \text{Korr}}$ ) der gemessenen Winkelmarkenpositionen zu der idealen Winkelmarkenpositionen im Bereich von markanten Zylinderdruckwerten erfolgt.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet,  
5 dass die markanten Zylinderdruckwerte Maximalwerte in der Kompressions- und/oder Expansionsphase des jeweiligen Zylinders sind.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet,  
dass die Maximalwerte über die Ableitungen der Brennraum-  
10 Drucksignale über dem Wellenwinkel bestimmt werden.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Korrektur der gemessenen Druckwerte gemäß Schritt d) im Least Square Schätzverfahrens erfolgt.
- 15 7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass im Least Square Schätzverfahren ein Verstärkungsfaktor a und ein Offsetfaktor b geschätzt wird, wobei folgende Summe

$$\sum_{i=1}^{2M/Z} \left[ p_{\text{zyl, Tabelle}}^{(i)} - (a \cdot p_{\text{zyl, Messung}}^{(i)} + b) \right]^2 \rightarrow \text{Min}$$

- 20 minimal wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Zylinderdruckwerte

zunächst über mehrere Arbeitsspiele gemessen und gespeichert werden und dass diese Zylinderdruckwerte für die einzelnen Winkelmarkenpositionen gemittelt werden.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
5 dadurch gekennzeichnet, dass der Betriebszustandes des Verbrennungsmotors mittels einer Betriebspunkterkennung (10) überwacht wird.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass das Inkrementrad (2)  
10 verschiedene Segmente (Z) aufweist, die jeweils einem Zylinder zugeordnet sind, wobei eine Signalauswerte-Einheit (13) aus den gemessenen Markenpositionen den Segmenten einzelne Zylinder zuordnet und die Druckwerte des jeweiligen Zylinders dem entsprechenden Segment zuordenbar  
15 sind.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass eine Drehzahlabhängigkeit der Erfassung der Winkelmarkenpositionen kompensiert wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet,  
20 dass die Kalibrierung der Winkelmarkenabstände aus dem Zylinderdrucksignal bei unterschiedlichen Drehzahlen durchgeführt und in der Winkelkorrektur-Tabelle drehzahlabhängig abgelegt wird.



13. System zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, das umfasst:

- Drehzahl- und/oder Drehwinkelsensors, mit einem der Drehbewegung einer Welle folgenden Inkrementalrad (1) mit Winkelmarken (K) und wenigstens einem Sensorelement (2),
- Messsensoren (6a, 6b), die die Druckwerte der Brennraumdrücke in den einzelnen Zylindern (5a, 5b) des Verbrennungsmotors messen,
- ein Steuergerät mit einer Signalauswertung (8), mit einer Messwert-Tabelle (11), einer Referenz-Tabelle (9), mit ggf. einer Signalaufbereitung (12), mit einer Auswerteeinheit (13) und mit einer Winkelkorrekturtabelle (14).

02.09.2002

5

Verfahren zur Korrektur der Position der Winkelmarken eines  
Inkrementrades eines Drehzahl- und/oder Drehwinkelsensors  
und System hierzu

10

Zusammenfassung

15 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Korrektur der  
Position der Winkelmarken eines Inkrementrades eines  
Drehzahl- und/oder Drehwinkelsensors eines  
Verbrennungsmotors und ein System hierzu.

20 Die Erfindung kennzeichnet durch folgende Schritte:

- a) Erfassen der Winkelmarken (k) mit dem Drehzahl-  
und/oder Drehwinkelsensor (1,2,3,4),  
b) Messen des Brennraumdrucks ( $p_{zyl}(1)$ ,  $p_{zyl}(2)$ , ...  
25  $p_{zyl}(2M/Z)$ ) im jeweiligen Zylinder (5a, 5b) des  
Verbrennungsmotors,  
c) Zuordnen eines gemessenen Druckwertes ( $p_{zyl}(1)$ ,  
 $p_{zyl}(2)$ , ...  $p_{zyl}(2M/Z)$ ) zu den erfassten  
Winkelmarkpositionen ( $\varphi_{inkr,real}(k)$ ),  
30 d) ggf. Korrektur der gemessenen Druckwerte ( $p_{zyl}(1)$ ,

$p_{zyl}(2), \dots p_{zyl}(2M/Z))$  in einer Signalaufbereitung  
(12),

e) Speichern der erfassten Winkelmarkpositionen  
( $\varphi_{inkr,real}(k)$ ) mit den zugehörigen, gemessenen

5 Druckwerten ( $p_{zyl}(1), p_{zyl}(2), \dots p_{zyl}(2M/Z))$  in einer  
Messwert-Tabelle (11),

f) Ablegen von sich an den idealen  
Winkelmarkpositionen ( $\varphi_{inkr,ideal}(k)$ ) ergebenden

Iealdruckwerten ( $p_{zyl,ideal}(1), p_{zyl,ideal}(2), \dots$   
10  $p_{zyl,ideal}(2M/Z))$  in einer Referenz-Tabelle (9),

g) Vergleich der gemessenen und ggf. in der  
Signalaufbereitung (12) vorverarbeiteten Druckwerten  
( $p_{zyl}(1), p_{zyl}(2), \dots p_{zyl}(2M/Z))$  mit den  
Iealdruckwerten ( $p_{zyl,ideal}(1), p_{zyl,ideal}(2), \dots$   
15  $p_{zyl,ideal}(2M/Z))$ ,

h) Feststellen von Abweichungen ( $\Delta\varphi_{KW,Korr}$ ) der  
gemessenen Winkelmarkpositionen ( $\varphi_{inkr,real}(k)$ ) zu den  
idealen Winkelmarkpositionen ( $\varphi_{inkr,ideal}(k)$ ) bei  
übereinstimmenden Zylinderdruckwerten ( $p_{zyl}(1) =$   
20  $p_{zyl,ideal}(1), p_{zyl}(2) = p_{zyl,ideal}(2), p_{zyl}(2M/Z) = p_{zyl,ideal}$   
( $2M/Z)$ ) in einer Auswerteeinheit (13), und

i) Korrigieren der gemessenen Winkelmarkpositionen  
( $\varphi_{inkr,real}(k)$ ) um die festgestellten Abweichungen  
( $\Delta\varphi_{KW,Korr}$ ). Fig. 2

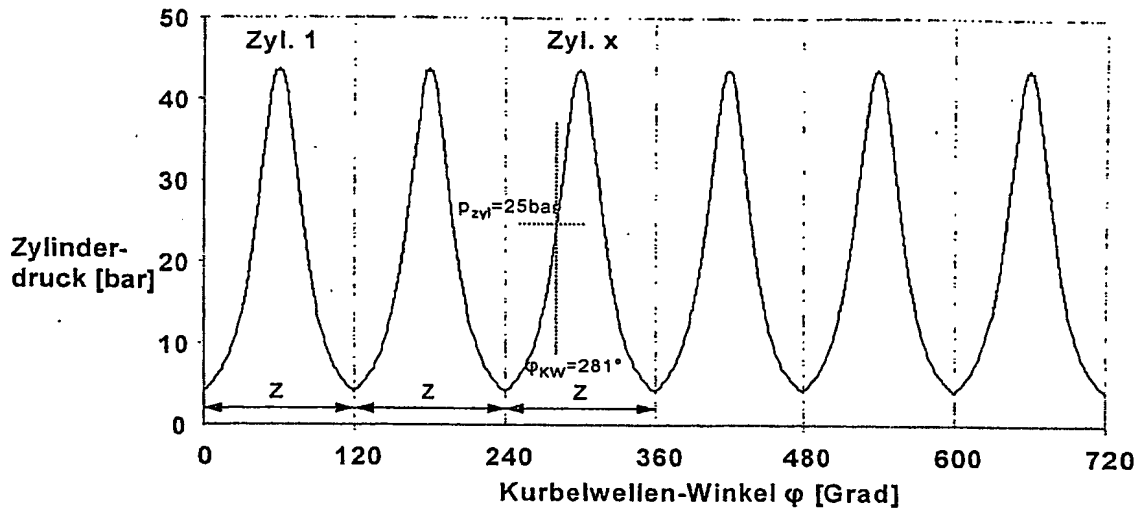


Fig 1

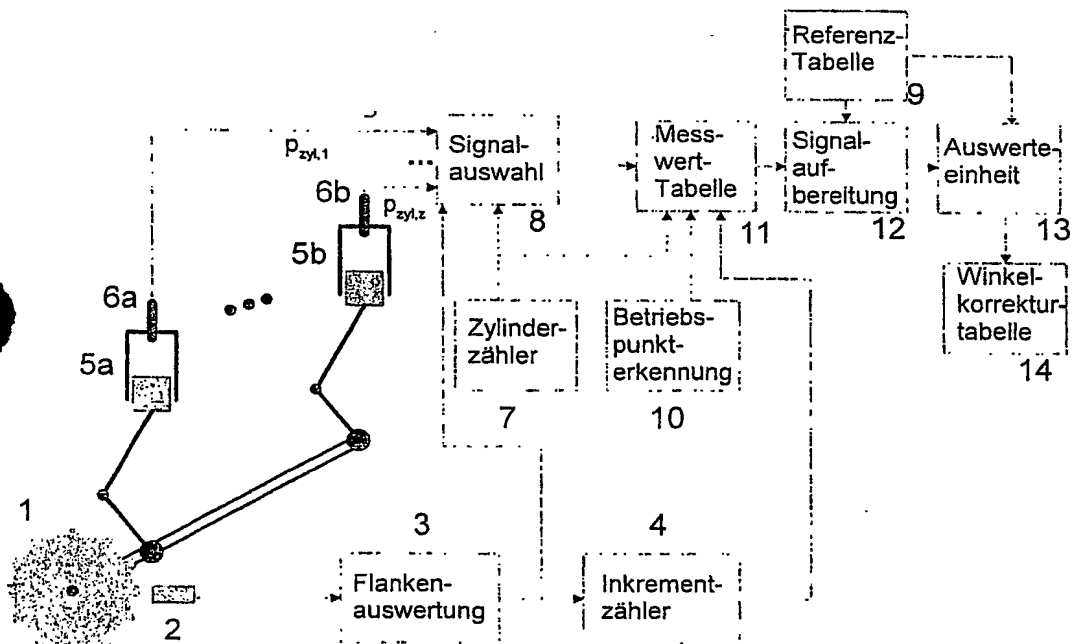


Fig. 2